

© Группа авторов, 2002

Метод двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии при динамическом контроле состояния костной ткани в процессе лечения остеопороза

А.С. Аврунин, Н.В. Корнилов

The method of double-photon x-ray absorptiometry for the dynamic control of bone tissue state in the process of osteoporosis treatment

A.S. Avrounin, N.V. Kornilov

ГУ РосНИИ травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена, г. Санкт-Петербург
(директор - заслуженный деятель науки РФ, член-корреспондент РАМН, профессор Н. В. Корнилов)

Разработан алгоритм оценки минеральной плотности костной ткани методом двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии для контроля эффективности медикаментозного лечения остеопороза. Чтобы объективно судить об успехе терапии, необходимо осуществлять исследование всего скелета (35 зон интереса) в динамике не менее 5 раз. Описаны укладки для исследования каждой зоны.

Ключевые слова: остеопороз, минеральная плотность, двойная фотонная рентгеновская абсорбциометрия.

The authors have developed an algorithm for evaluation of bone tissue mineral density using the method of double-photon X-ray absorptiometry to control the effectiveness of osteoporosis medicamentous treatment. To be able to judge objectively the effect of drug therapy it's necessary to examine the whole skeleton (35 areas of interest) in the dynamics at least five times. Positioning of patients to examine each area is described.

Keywords: osteoporosis, mineral density, double-photon x-ray absorptiometry.

Внедрение в широкую клиническую практику новой диагностической технологии всегда сопровождается большими ожиданиями. Однако по мере ее использования неизбежно уточнение возможностей и ограничений, причем первые зачастую оказываются существенно ниже ожидаемых, а вторые – выше. Все это происходит в процессе практического применения нового метода и, соответственно, приводит к диагностическим ошибкам. В связи с тем, что метод двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии занимает все большее место в инструментальной диагностике нарушений структуры костной ткани, с учетом сказанного, назрела настоятельная необходимость определить его диагностические возможности и ограничения при проведении индивидуальной, а не среднegrupповой оценки эффективности медикаментозного лечения остеопороза.

Эта проблема возникает в связи с тем, что рентгеновские денситометры и их программное обеспечение разработаны в первую очередь для скринингового обследования лиц с высоким риском развития остеопороза. Поэтому программное обеспечение позволяет быстро в автоматическом режиме исследовать минеральную плотность

костной ткани в зонах с наибольшим риском развития остеопороза (прежде всего это поясничный отдел позвоночника, шейка бедренной кости, область лучезапястного сустава). В то же время при оценке эффективности лечения необходимо учитывать следующие моменты.

1. Медикаментозные средства действуют на метаболизм всего скелета в целом.

2. Чувствительность метода достаточна, чтобы уловить биоритмические колебания минеральной плотности, связанные с физиологической перестройкой минерального матрикса, причем амплитуда этих колебаний существенно выше величины отклонений тренда, которые характеризуют эффект лечения. Следовательно, вероятность неправильной оценки и, соответственно, интерпретации результатов обратно пропорциональна количеству исследований при динамическом контроле [7].

3. Минеральная плотность в разных участках скелета меняется разнонаправлено и асимметрично [5, 11], что обусловлено функционально-метаболическими различиями не только между костными органами, но и между участками одной кости [1, 6] соответственно закону перемежающейся активности Г. Н. Крыжановского [8, 9].

4. Согласно сформулированному нами биологическому закону о структуре развития местных процессов, динамика параметров минерального обмена в патологическом очаге и в близлежащих интактных участках, в том числе соседних костных органах, даже при благоприятном течении процесса может существенно отличаться от ожидаемой [2, 3, 10].

Наглядным примером колебаний минеральной плотности являются данные, представленные в таблице 1. Учитывая вышеизложенное, необходимо при оценке динамики минеральной плотности методом двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии при контроле за эффективностью лечения остеопороза выполнять следующие условия:

- оценку минеральной плотности следует проводить в мануальном режиме в 35 участках скелета;
- не допускать наложения костей по проекции луча;
- строго соблюдать принципы укладки;

- врач должен четко определить критерии выделения границ каждой из зон интереса, что обеспечит воспроизводимость результатов.

Ошибка метода, связанная с прибором, не превышает 1%, а ошибка, обусловленная неправильной укладкой, может достигать 3%. Отсутствие четких критериев определения границ зоны интереса резко снижает воспроизводимость результатов и вносит неконтролируемую ошибку.

При определении минеральной плотности участков скелета, для которых имеются программы, позволяющие проводить исследование в автоматическом режиме, важно помнить, что в программах также заложены определенные критерии выделения границ зон интереса, поэтому погрешности укладки и индивидуальные особенности развития костных органов могут вносить существенную неконтролируемую ошибку.

Во избежание этого рекомендуем следующие разработанные нами укладки (зоны интереса представлены в таблице 1).

Таблица 1.

Динамика изменения минеральной плотности (в % к первому исследованию) у больной Е. Н.

Зона интереса	Временной интервал между первым и повторными исследованиями (сут.)					
	7	14	21	28	35	42
Позвонок L ₂	103	103	95	101	101	102
Позвонок L ₃	105	104	99	103	106	102
Позвонок L ₄	100	99	103	95	99	100
Шейка правой бедренной кости	100	96	99	101	102	100
Шейка левой бедренной кости	96	87	86	91	97	96
Верхняя треть диафиза правой бедренной кости	113	102	109	103	106	105
Средняя треть диафиза правой бедренной кости	112	113	140	124	112	120
Нижняя треть диафиза правой бедренной кости	111	106	112	104	104	109
Верхняя треть диафиза левой бедренной кости	103	100	107	102	108	113
Средняя треть диафиза левой бедренной кости	118	104	138	120	117	111
Нижняя треть диафиза левой бедренной кости	111	108	108	115	109	91
Мышечки правой бедренной кости	103	95	101	101	100	99
Мышечки правой большеберцовой кости	99	89	98	98	89	103
Мышечки левой бедренной кости	103	102	100	106	99	95
Мышечки левой большеберцовой кости	101	95	98	105	97	100
Средняя треть диафиза правой большеберцовой кости	92	85	99	93	93	84
Средняя треть диафиза правой малоберцовой кости	86	60	101	90	84	65
Средняя треть диафиза левой большеберцовой кости	108	102	107	108	105	97
Средняя треть диафиза левой малоберцовой кости	95	89	101	95	94	78
Правый голеностопный сустав	103	95	97	110	99	98
Левый голеностопный сустав	92	88	89	86	88	98
Правая пяточная кость	106	100	94	85	97	88
Левая пяточная кость	101	96	96	79	85	75
Правый плечевой сустав	85	98	104	87	102	81
Левый плечевой сустав	81	79	91	75	90	77
Верхняя треть диафиза правой плечевой кости	82	83	99	89	86	88
Средняя треть диафиза правой плечевой кости	94	90	108	109	92	110
Нижняя треть диафиза правой плечевой кости	99	103	119	107	100	101
Верхняя треть диафиза левой плечевой кости	90	85	95	104	91	99
Средняя треть диафиза левой плечевой кости	122	103	130	132	107	124
Нижняя треть диафиза левой плечевой кости	113	95	119	115	106	121
Правый локтевой сустав	82	100	104	110	95	114
Левый локтевой сустав	110	98	108	117	106	120
Правый лучезапястный сустав	115	88	107	110	134	111
Левый лучезапястный сустав	104	77	102	118	124	125
Средние значения	101	95	105	103	101	100

1. *Исследование позвоночника в прямой задней проекции (зоны интереса – L_1, L_2, L_3).* Уложить пациента на спину головой вправо, симметрично относительно линии-центра деки стола. Положить его ноги на квадратный держатель, чтобы уменьшить естественный изгиб позвоночника. Переместить штатив-гентри нажатием клавиши выключателя так, чтобы свет появлялся в точке-ориентире - на пупке. Опустить выключатель и проверить, центрирована ли выбранная ось на пациенте. Если позиционирование правильное, переместить кронштейн вниз так, чтобы свет появился на 3 см ниже пупка. Начать исследование.

2. *Исследование шейки бедренной кости.* Уложить пациента на спину, головой вправо, симметрично относительно линии-центра деки стола. Срединная линия нижней конечности должна быть параллельна линии-центра деки стола. Стопу исследуемой конечности повернуть кнутри на $10-15^\circ$ и фиксировать. Переместить штатив-гентри нажатием клавиши выключателя так, чтобы свет появился в проекции шейки бедренной кости. Ориентиром является точка, лежащая на 2 см ниже границы наружной и средней трети расстояния между передневерхней остью подвздошной кости и лонным симфизом. Проверить, центрирован ли луч на пациенте относительно срединной линии конечности. Если позиционирование правильное, то сдвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился на 15 см дистальнее точки-ориентира. Начать исследование.

3. *Исследование диафиза бедра в средней трети.* Уложить пациента на спину головой вправо, симметрично относительно линии-центра деки стола. Срединная линия нижней конечности расположена параллельно линии-центра деки стола. Сагиттальная плоскость стопы перпендикулярна плоскости стола. Свет устанавливается в точке-ориентире, соответствующей середине бедра (середина расстояния от области проекции шейки бедренной кости до верхнего полюса надколенника). Проверить, центрирован ли луч на пациенте относительно срединной линии конечности. Если позиционирование правильное, то сдвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился на 10 см дистальнее выбранной точки. Начать исследование.

4. *Исследование коленного сустава в боковой проекции (зоны интереса – мышцы бедренной и большеберцовой костей).* Уложить пациента на исследуемый бок с разогнутой в коленном и тазобедренном суставах ногой. Срединная линия исследуемой конечности – параллельна линии-центра деки стола. Противоположная конечность находится за исследуемой. Переместить штатив нажатием клавиши выключателя так, чтобы свет появился в

точке-ориентире - центре суставной щели. Опустить клавишу выключателя и проверить центрирование луча относительно средней линии конечности. Если позиционирование правильное, то переместить штатив-гентри так, что бы свет появился на 10 см дистальнее выбранной точки ориентира. Начать исследование.

5. *Исследование средней трети голени в боковой проекции (зоны интереса – большеберцовая и малоберцовая кости).* Уложить пациента на исследуемый бок с разогнутой в коленном и тазобедренном суставах ногой. Срединная линия исследуемой конечности – параллельна линии-центра деки стола. Противоположная конечность находится перед исследуемой, бедро слегка подтянуто к животу. Фиксировать голень с обеих сторон валиками. Положить стандарт мягких тканей на валики так, чтобы излучение ослаблялось и стандартом, и голенью. Свет устанавливается в точке-ориентире - середине голени (середина расстояния от внутренней лодыжки до центра суставной щели коленного сустава). Проверить, центрирован ли луч на пациенте относительно срединной линии конечности. Если позиционирование правильное, то сдвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился на 10 см дистальнее выбранной точки. Начать исследование.

6. *Исследование голеностопного сустава в боковой проекции (зоны интереса – пяточная кость и голеностопный сустав).* Уложить пациента на исследуемый бок с разогнутой в коленном и тазобедренном суставах ногой. Срединная линия исследуемой конечности – параллельна линии-центра деки стола. Область исследуемого голеностопного сустава боковой поверхностью прилежит к деке стола, стопа – в положении максимального подошвенного сгибания. Другая конечность находится перед исследуемой, бедро слегка подтянуто к животу. Луч проецируется на центр внутренней лодыжки. Подвинуть штатив на 10 см дистальнее точки-ориентира. Положить валики с обеих сторон сустава и установить на них стандарт мягких тканей так, чтобы излучение ослаблялось и стандартом, и тканями сустава. Проверить, центрирован ли луч относительно срединной линии конечности. Если позиционирование верное, пододвинуть штатив так, чтобы свет появился на стандарте мягких тканей в точке старта. Начать исследование.

7. *Исследование плечевого сустава и диафиза плеча в верхней трети.* Уложить пациента на спину головой вправо. Исследуемая конечность находится в положении супинации (ладонью вверх), вытянута вдоль туловища, ее срединная линия должна быть параллельна линии-центра деки стола. Для исключения на-

слаивания изображений головки плечевой кости и лопатки повернуть пациента на 30-45° в исследуемую сторону. Для удобства удержания пациентом конечности в этом положении под плечо подкладывают валик. Точкой-ориентиром является центр головки плеча, который находят пальпаторно. Штатив отодвинуть на 10 см дистальнее точки-ориентира. Проверить центровку луча относительно оси конечности. Если позиционирование правильное, начать исследование.

8. *Исследование диафиза плеча в средней трети.* Уложить пациента на спину, голову повернуть вправо. Исследуемая конечность находится в положении супинации (ладонью вверх), вытянута вдоль туловища, срединная линия конечности должна быть параллельна линии-центра деки стола. Свет устанавливается в точке-ориентире - середине плеча (середина расстояния между центром плечевого сустава и медиальным надмыщелком плеча). Проверить, центрирован ли луч на пациенте относительно срединной линии конечности. Если позиционирование правильное, то сдвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился на 10 см дистальнее выбранной точки. Начать исследование.

9. *Исследование локтевого сустава в прямой задней проекции.* Уложить пациента на спину головой вправо, с вытянутыми вдоль туловища руками. Обследуемая рука супинирована и максимально разогнута в локтевом суставе, срединная линия конечности – параллельна линии-центра деки стола. Переместить штатив-гентри так, чтобы свет появился в проекции центра суставной щели (на 3 см дистальнее медиального надмыщелка плеча). Проверить центрирование луча относительно срединной линии конечности. Если позиционирование верное, то переместить штатив так, чтобы свет появился на 10 см дистальнее точки-ориентира. Начать исследование.

10. *Исследование лучезапястного сустава в прямой задней проекции.* Посадить пациента на стул левым боком к столу для исследования левой руки и правым боком – для исследования правой руки. Положить исследуемую конечность на деку стола так, чтобы ее срединная линия была параллельна линии-центру деки стола. Подвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился между III и IV пальцем кисти. Точка старта проксимальнее на 25 см. Проверить центрирование луча относительно сре-

динной линии конечности. Положить валики с обеих сторон руки. Поместить стандарт мягких тканей на валики так, чтобы излучение ослаблялось и стандартом, и суставом. Если позиционирование правильное, подвинуть штатив-гентри так, чтобы свет появился на стандарте мягких тканей в точке старта. Начать обследование.

Проведя несколько исследований для каждой зоны интереса, получают динамический ряд абсолютных значений минеральной плотности, и для оценки эффективности лечения вычисляют среднюю минеральную плотность скелета для каждого исследования. После этого полученные средние данные (если исследование проводилось в динамике три раза и больше) аппроксимируют полиномом второго порядка:

$$y(t) = y_0 + vt,$$

где $y(t)$ - значение показателя в момент времени t ,

y_0 - начальная величина показателя,

V - скорость его изменения.

Положительная величина V свидетельствует о приросте минеральной плотности в скелете, а отрицательная - о ее потере. Численное выражение y_0 , и V при индивидуальной диагностике существенного значения не имеет, так как зависит от многих факторов, в том числе и от количества исследований.

В том случае, если требуется оценить динамику минеральной плотности локально, аппроксимацию проводят по результатам исследования отдельных участков. Примером этого являются данные, представленные в таблице 2. Наблюдаемая разнонаправленность изменений в первую очередь, как уже отмечалось выше, может возникнуть под влиянием колебательно-го процесса. Поэтому необходимо проведение минимум 5 повторных исследований [7]. Лучевая нагрузка на пациента при осуществлении двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии представлена в таблице 3. Величина интервала между исследованиями зависит от характера лечения. При этом надо учитывать, что метод двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии выявляет изменения уже через 3 сут. Подобные отклонения минеральной плотности за столь короткий период времени, по мнению Fukuoka с соавторами [12] и Nishimura с соавторами [13], обеспечиваются остеоцитами.

Таблица 2.

Изменение минеральной плотности у больной Е. Н. (аппроксимация данных полиномом второго порядка)

Зона интереса	Минеральная плотность*
Позвонок L ₂	-
Позвонок L ₃	+
Позвонок L ₄	-
Шейка правой бедренной кости	+
Шейка левой бедренной кости	-
Верхняя треть диафиза правой бедренной кости	+
Средняя треть диафиза правой бедренной кости	+
Нижняя треть диафиза правой бедренной кости	+
Верхняя треть диафиза левой бедренной кости	+
Средняя треть диафиза левой бедренной кости	+
Нижняя треть диафиза левой бедренной кости	-
Мышелки правой бедренной кости	-
Мышелки правой большеберцовой кости	-
Мышелки левой бедренной кости	.
Мышелки левой большеберцовой кости	+
Средняя треть диафиза правой большеберцовой кости	-
Средняя треть диафиза правой малоберцовой кости	-
Средняя треть диафиза левой большеберцовой кости	-
Средняя треть диафиза левой малоберцовой кости	-
Правый голеностопный сустав	+
Левый голеностопный сустав	-
Правая пяточная кость	-
Левая пяточная кость	-
Правый плечевой сустав	-
Левый плечевой сустав	-
Верхняя треть диафиза правой плечевой кости	-
Средняя треть диафиза правой плечевой кости	+
Нижняя треть диафиза правой плечевой кости	+
Верхняя треть диафиза левой плечевой кости	+
Средняя треть диафиза левой плечевой кости	+
Нижняя треть диафиза левой плечевой кости	+
Правый локтевой сустав	+
Левый локтевой сустав	+
Правый лучезапястный сустав	+
Левый лучезапястный сустав	+
Средние значения	+

Примечание: - минеральная плотность снижается; + минеральная плотность увеличивается.

Таблица 3.

Дозы облучения пациентов при проведении двухфотонной рентгеновской абсорбциометрии на мультidetекторном костном денситометре «SOPHOS»

NN п/п	Область исследования	Экспозиция (сек)	Эффективная доза мЗв		
			дети		взрослые
			5-10	11-15	
1	Плечевой сустав	190	0,00010	0,00015	0,00020
2	Диафиз плечевой кости в средней трети	300	0,00016	0,00024	0,00032
3	Локтевой сустав	190	0,00010	0,00010	0,00005
4	Лучезапястный сустав	190	0,00020	0,00010	0,00005
5	Поясничный отдел позвоночника	300	0,00221	0,00237	0,00320
6	Шейка бедренной кости	190	0,00120	0,00150	0,00160
7	Диафиз бедренной кости	300	0,00190	0,00237	0,00253
8	Коленный сустав	190	0,00015	0,00010	0,00005
9	Диафизы костей голени	300	0,00032	0,00016	0,00008
10	Голеностопный сустав с захватом пяточной кости	190	0,00020	0,00010	0,00005
11	Все области (с 2-х сторон)	4680	0,0096	0,0103	0,0111

ЛИТЕРАТУРА

1. Аврунин А.С. Механизмы развития адаптационного ответа организма на нарушение целостности костей и пути превентивной профилактики послеоперационных осложнений: Автореф. дис.... д-ра мед. наук. - Самара, 1998. - 32 с.
2. Аврунин А.С., Корнилов Н.В. Структура местной реакции организма - информационно-зависимый процесс // Ортопед., травматол. - 1991. - № 6. - С.59-62.
3. Аврунин А.С., Корнилов Н.В. Обмен фосфатов минерального матрикса интактных костей после единичных и множественных переломов // Бюлл. эксперим. мед. - 1992. - № 3. - С.322-324.
4. Аврунин А.С., Корнилов Н.В. Принцип разграничения местных и общих процессов // Медицина и экология. - 1992. - № 1. - С. 22-24.
5. Аврунин А.С., Корнилов Н.В., Асимметрия параметров - основа структуры пространственно-временной организации функций // Морфология. - 2000. - № 2. - С. 80-85.
6. Аврунин А.С. и др. Формирование остеопоротических сдвигов в структуре костной ткани (костные органы, структура костной ткани и ее ремоделирование, концепция патогенеза остеопороза, ее диагностики и лечения) / А.С. Аврунин, Н.В. Корнилов, А.В. Суханов, В.Г. Емельянов. - СПб.: Ольга, 1998. - 67 с.
7. Биоритмы обменных процессов в костной ткани и диагностическая ценность двойной фотонной рентгеновской абсорбциометрии / Н.В. Корнилов, А.С. Аврунин, И.Е. Синюкова, В.Е. Каземирский // Вестн. травматол. ортопед. - 1999. - № 4. - С. 52-56.
8. Крыжановский Г.Н. Биологические ритмы и закон структурно-функциональной дискретности биологических процессов // Биологические ритмы в механизмах компенсации нарушенных функций. - М., 1973. - С. 20-34.
9. Крыжановский Г.Н. Расстройство нервной регуляции // Патология нервной регуляции функций. - М., 1987. - С. 5-42.
10. Макаров Л.М., Негоруйко В.К. Оценка характера и степени поражения костных структур (К статье А.С. Аврунина и Н.В. Корнилова "Структура местной реакции организма - информационно-зависимый процесс") // Ортопед., травматол. - 1993. - № 3. - С. 109-111.
11. Паршин В.А., Изолированная и множественная скелетная травма. Хронобиологические характеристики асимметрии адаптивной реакции: Автореф. дис.... канд. мед. наук. - СПб., 1999. - 20 с.
12. Metabolic turnover of bone and peripheral monocyte release of cytokines during short-term bed rest / H. Fukuoka, M. Kiriya, Y. Nishimura et al. // Acta Physiol. Scand. - 1994. - Vol. 616 (Suppl.). - P. 37-41.
13. Bone turnover and calcium metabolism during 20 days bed rest in young healthy males and females / Y. Nishimura, H. Fukuoka, M. Kiriya et al. // Acta Physiol. Scand. - 1994. - Vol. 616 (Suppl.). - P. 27

Рукопись поступила 21.04.01.